

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-196032

(43)Date of publication of application : 15.07.1992

(51)Int.Cl. H01J 27/16
H01J 37/08

(21)Application number : 02-322899

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 28.11.1990

(72)Inventor : TOKIKUCHI KATSUMI
GOTO SUMITAKA
AMAMIYA KENSUKE
HAKAMATA YOSHIMI
SAKUMICHI KUNIYUKI

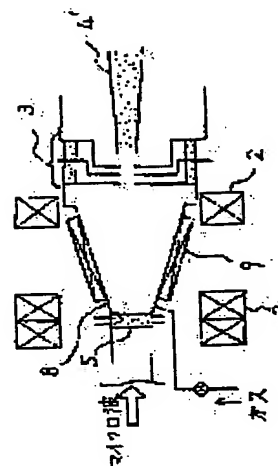
(54) MICROWAVE ION SOURCE FOR GENERATING MASS ION

(57)Abstract:

PURPOSE: To efficiently generate a mass ion consisting of mutually connected two or more equal atoms by arranging permanent magnets so as to alternately place their polarities on the periphery of a tapered structural plasma chamber, and mounting the gas introducing pipe of the plasma chamber in the vicinity of a microwave introducing side.

CONSTITUTION: A plasma chamber 8 is formed into a tapered tube formed by arranging permanent magnets 9 on its peripheral part further by additionally providing a coil 2 for generating a magnetic field in the axial direction. A gas introducing port (for instance, inflow of H₂ gas) is provided in the vicinity of a microwave introducing window 5. Accordingly, ions are efficiently absorbed in plasma due to an axial directional magnetic field applied by the coil 2, so that a large amount of H₂⁺ ion is produced in the vicinity of the microwave

introducing window and the ions in the plasma are diffused to a tapered part of high plasma enclosing effect. By the time outlet these ions reach slits of drawn out electrodes 3, they make collision reaction with a neutral H₂ gas molecules simultaneously flowing in diffused state. Thus the mass ion can be sufficiently generated, by efficiently performing ion molecular reaction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平4-196032

⑬ Int. Cl.⁵

H 01 J 27/16
37/08

識別記号

庁内整理番号

7247-5E
9069-5E

⑭ 公開 平成4年(1992)7月15日

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全9頁)

⑮ 発明の名称 多量体イオン発生用マイクロ波イオン源

⑯ 特 願 平2-322899

⑰ 出 願 平2(1990)11月28日

⑱ 発 明 者 登 木 口 克 己 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内

⑲ 発 明 者 後 藤 純 孝 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内

⑳ 発 明 者 雨 宮 健 介 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内

㉑ 発 明 者 袴 田 好 美 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内

㉒ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉓ 代 理 人 弁理士 小川 勝男 外2名

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

多量体イオン発生用マイクロ波イオン源

2. 特許請求の範囲

1. 空心コイルで発生した磁場中のマイクロ波放電により高密度プラズマを生成し、このプラズマからイオン引出し電極を使ってイオンビームを引出すマイクロ波イオン源において、
プラズマ室構造をマイクロ波導入側からイオン引出し電極に到る軸方向に沿って半径が増大するテーパ構造とし、テーパ構造プラズマ室の外周に永久磁石を極性が交互になる様に配置し、プラズマ室のガス導入パイプをマイクロ波導入側近傍に取付けたことを特徴とする多量体イオン発生用マイクロ波イオン源。
2. 請求項1において前記プラズマ室に金属等の中性クラスタービームを発生するクラスタ発生装置を取り付け、中性のクラスタ粒子を前記プラズマ室に導入せしめる様にした多量体イオン発生用マイクロ波イオン源。

3. 請求項1において、前記イオン源から引出された多量体イオンビームを、多量体の質量数と電荷比に応じて選択・分離する磁場型質量分離器、質量分離されたビームを基板に照射する照射室を多量体イオン発生用マイクロ波イオン源に結合すると共に、イオン源、質量分離器、照射室の結合部に差動排気系を設けた多量体イオンビーム照射装置。

4. 請求項3において、前記質量分離器と多量体イオンビーム照射室の中間に、高周波電圧が印加された電極によりイオンビームエネルギーを減速するイオンビーム減速器を備えた多量体イオンビーム照射装置。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は同種の原子が二個以上結合した多量体分子の大電流イオンビームを発生するに好適なマイクロ波イオン源及びこのイオン源を搭載した1000V以下の大電流ビーム照射装置に関する。

[従来の技術]

従来の磁場中のマイクロ波（周波数2.45GHz）放電で高密度プラズマを生成し、このプラズマからイオンビームを引出すマイクロ波イオン源のプラズマ室構造は、特公開57-11093号、特公昭57-41059号公報に記載のように、マイクロ波導入部からイオンビーム引出し部に到るまでプラズマ室寸法に変化がなく、一様な高温・高密度プラズマを発生させていた。また、原子の単イオン、或いは、多価イオンのビーム電流を高めるようにイオン源運転条件（マイクロ波電力、磁場の強さ、ガス圧力など）が最適化されている。第2図は、これら従来例のプラズマ室構造の代表的なものを示した。第2図（A）、（B）は、それぞれ、円筒型及び同軸型である。

一方、テーパ形のプラズマ室外周に永久磁石を配置し、永久磁石の作る磁場中で、マイクロ波放電、プラズマを作り、このプラズマからイオンビームを引出すイオン源も利用されている。この構造概略図を第2図（c）に示した。本構造のプラズマ発生により、半径方向に均一な大口径ビーム

(2)

4を引出せる利点が生れる。しかし、軸方向磁場が印加されていないため、マイクロ波電力が効率良くプラズマに吸収されない。よく知られている様に、マイクロ波の進行方向とプラズマに印加する、磁場の方向が同じ時、マイクロ波電力は効率良くプラズマ内に浸透して吸収される。第2図（c）では磁場の方向（周方向）とマイクロ波の伝播方向が直交しているため吸収効率は悪くなる。このため、プラズマの均一性は良好なもののプラズマ密度や電子温度が低く、引出される最大イオンビーム電流密度は通常のイオン源より低い1mA/cm²程度であった。なお（c）については永久磁石9の円周方向配置を示すため、図中の右図に断面図を示した。

しかし、第2図（A）、（B）、（C）のイオン源プラズマ室から引出されるイオンビーム4は主として原子の単価あるいは多価イオンが主であり、原子が複数個結合した多量体のイオン生成は僅かであった。このため、これら微量の多量体イオンを除去し、原子状イオンのみを選択するフィルタ

- 3 -

をイオン源に結合していた。即ち、多量体イオンを工業的に利用するためのイオン源の工夫は従来特に払われていなかった。

〔発明が解決しようとする課題〕

本発明の目的は、同・原子が2ヶ以上結合した多量体イオンを効率良く発生するマイクロ波イオン源を提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

多量体イオンの発生の一例として水素原子が三結合したイオンH₃⁺イオンの生成を考える。H₃⁺イオンはいわゆるイオン-分子反応によって効率良く生成され、主として、下記の反応式による。



従って、H₃⁺イオンを効率良く生成するにはH₂⁺の生成と共にこのイオンが壁等に衝突せずプラズマ内に長時間存在しH₂分子と十分衝突させる機会を与える必要がある。しかし、従来の第2図（A）、（B）図のマイクロ波イオン源では、プラズマ電子温度が高いため、イオン化に際して

- 4 -

ほとんどがH⁺になり、H₃⁺イオン量は少なかった。H₃⁺/H⁺の生成比は高々1で通常は0.1以下である。また、プラズマ室周辺に永久磁石がないため、プラズマ閉じ込み効果が弱く、H₃⁺イオンはH₂⁺分子に遭遇する前に壁等に衝突する割合が多かった。このためH₃⁺イオンの生成効率は通常H⁺イオンの一桁以下でその絶対量も僅かであった。

一方、第2図（c）図の従来例では、閉じ込め効果が高い（体積が大きく周辺に磁石が配置されているため）が、H₃⁺の生成量そのものが少なくH₃⁺の生成も僅かであった。

多量体イオンの発生法としては、イオン分子反応を利用する代りに、中性の多量体を別の手段によって作っておき、これをプラズマ室に導入し、イオン化する方法も考えられる。

本発明は、多量体イオンの発生メカニズムと従来のマイクロ波イオン源の特性検討から、多量体イオンを効率良く発生するためのイオン源構造を提供するものである。また、多量体イオンビーム

- 5 -

- 6 -

装置を構成するにあたって必要となる課題解決の
考案も合わせて提供するものである。

〔作用〕

多量体イオンを効率良く発生するには、イオン
分子反応の担い手であるイオン (H_2^+ イオン生成
の場合は H_2^+ イオンが相手) を、まず、大量に発
生するプラズマを作り、次いで閉じ込め効果の高
いプラズマ中で十分に相手の分子と衝突する様に
すれば良い。この他、多量体イオンを効率良く発
生可能なプラズマ室に、中性の多量体粒子を、直
接、ガス状にして導入すれば、中性の多量体粒子
がイオン化され、効率良く多量体イオンを引出し
可能となる。

第1図はこの様な考察に基づく本発明の原理説
明図である。図で、プラズマ室8は外周部に永久
磁石9を配置したテーパ型であり、且つ、これに
軸方向の磁場を発生するコイル2を付加している。
またガス導入口(例えば11、ガスを吸入)は、マ
イクロ波導入窓5の近傍に設けている。

コイル2により軸方向磁場が印加されているた

- 7 -

スタ粒子を構成する原子の数は、ノズルの開口径、
長さ、るつぼ内の固体蒸気圧により制御できる。
第3図ではクラスタ粒子発生装置から放出される
クラスタ粒子だけを試料としてプラズマ生成を行
っても良く、また別のガスでプラズマをあらかじめ
生成しておきこのプラズマのクラスタ粒子を導入
して多量体イオンビームを引出しても良い。

第1図、第3図の原理説明から分るように、第
1図は主としてガスの多量体イオン発生に好適で
あり、第3図は金属等の固体試料原子で構成され
る多量体イオンビーム発生に好適である。

〔実施例〕

以下、本発明の実施例を第4図により説明す
る。第4図(A)は、実施例で用いたイオン源構
造図であり、(B)はこの多量体イオン発生用マ
イクロ波イオン源12を搭載したイオンビーム処
理装置の構成図である。実際の実験では、イオン
源12の単体性能(例えば、引出しビーム全電流、
動作条件等)のみならず、イオンビーム照射装置
全体として、試料17に照射され、実質的に利用

(3)

め、マイクロ波は従来例の第2図(c)に比べて
効率良くプラズマに吸収されるため、マイクロ波
導入窓の近くでは H_2^+ イオンが大量に生成される。
プラズマ中のイオンはプラズマ閉じ込め効果の高
いテーパ部分に拡散する。また、引出し電極類3
のスリットに到るまでの間に、同時に拡散して流
れている中性の H_2 、ガス分子と衝突反応を起こす。
従って、イオン分子反応が効率良く行われ多量体
イオンが十分に発生する。

第3図は本発明の多量体イオン発生用マイクロ
波イオン源の別の原理説明図である。

第3図では、効率良く多量体イオンを発生する
プラズマ室に電氣的に中性のクラスタ粒子を導入
可能にしたものである。クラスタ粒子は同一原子
が数個ないし一千個結合した粒子である。クラ
スタ粒子発生装置は具体的には、固体の試料を加
熱するつぼ10とノズル11で構成されている。固
体蒸気が狭い空間から、ノズルを通してプラズ
マ室の広い空間に急激に放出されると断熱膨張によ
り原子が集まりクラスタ粒子が形成される。クラ

- 8 -

可能なビーム電流値(試料照射電流)も評価対象
とした。

まず、第4図(A)のイオン源について述べる。
使用マイクロ波の周波数は 2.45 GHz 、投入
電力は $100\text{ W} \sim 2\text{ kW}$ で可変である。プラズ
マ室寸法はマイクロ波導入窓5付近で直径約 90 mm 、
引出し電極3付近で約 170 mm とした。プラズ
マ室の長さは約 200 mm である。このプラズマ室に
コイル2による軸方向磁場を印加した。軸方向磁
場強度はコイル2に流すコイル電流を調節するこ
とにより変化でき、通常は、中心軸での値として
 $0.05 \sim 0.15\text{ T}$ (テスラ) である。プラズ
マ室8には、放電用のガスとしてガス単体を導入
できる。また、ノズル11が付いた固体蒸気るつ
ぼ10を取付けてクラスタ粒子発生装置とし、ク
ラスタ粒子も導入可能としている。

引出し電極類3は図中に示した形状の電極を用
いた。即ち、三枚の電極のうち、中間の電極を両
側に凸に膨らませた構造としている。これは、引
出し電圧が 10 kV 以下、特に、 1 kV 以下でも

- 9 -

- 10 -

(4)

効果良くイオンビームを引き出すための電極である。本発明による多量体イオンビームの利用は、 1 keV 以下、特に 100 eV 以下のエネルギーのイオンを使って、試料基板上に多量体イオンビーム物質を堆積し、高機能薄膜作製を行うことにある。更に、この様な低エネルギーイオンビームを試料基板上に埋込み、試料表面部の物理的、或いは、化学的特性を変化させることも重要な応用対象である。イオン源の引出し電圧を E とし、多量体イオンの構成原子数を n とすれば、試料基板（例えば、第4図(B)の試料7）に衝突する構成原子一個当りのエネルギーは、多量体イオン電荷数が1の時、 E/n である。従って、衝突エネルギーを上げるには、多量体イオン（ $n \geq 2$ ）を使うと同時に、引出し電圧 E を下げる必要がある。しかるに、一般に E を下げるとイオン源から引出されるイオン電流が減少してしまう。第4図(A)の引出し電極類3'の形状は、この様な背景から低エネルギーイオンビームを引出しに適した形状を用いている。イオン源の引出し電圧としては、 $100\text{ V} \sim$

10 kV の範囲で実験が行われた。

次に、第4図(B)を説明する。本実施例のイオンビーム照射装置は、(A)に示した多量体イオン発生用マイクロ波イオン源12、扇形磁場型質量分離器13、試料基板17を内蔵した超高真空ビーム照射室16で構成されている。更に、これら各部分を小孔15が設けられた差動排気室15'でつないでいる。一般に、多量体イオンビームを得るイオン源の動作ガス圧力は、通常の電荷数一個の原子状イオンビームを得る時の圧力に比べ高くなる。このため、本発明の多量体イオン源12を通常のイオンビーム処理装置に適用すると、イオンと残留ガスとの衝突によるビーム損失が大きくなる。また、ビーム照射室の圧力が高くなり、超高真空下でのビーム照射は不可能となる。このため、本実施例では図中に示した様に小孔15を持つ差動排気室15'を設け、イオン源12からのガスが質量分離器13や超高真空ビーム照射室16に流れ込まない様にした。

この装置構成で実験を行った。まず、 H_2 ガス

- 11 -

をプラズマ室8に導入し、引出し電圧 $3 \sim 10\text{ kV}$ で引出し全電流として約 10 mA を得た。この値は、従来の大電流イオン源と同等の電流量に対応する。プラズマ室内圧力は $10^{-7} \sim 10^{-8}\text{ Pa}$ の析であった。第6図は、この時、質量分離器13を動作させて得た質量スペクトルである。これは引出されたイオンビームの成分量を示すものである。図から、イオン分子反応で形成された H_2^+ イオンが効率的に生成されていることが分り、 H^+ 、 H_2^+ イオン量の約十倍であった。また、導入ガスの圧力を下げ、マイクロ波電力を増加させると相対的に H^+ 、 H_2^+ が増え、 H_3^+ イオンが減少することが観測されたが、 H_2^+ イオンが H^+ 、 H_2 イオン量より減ることはなかった。通常のイオン源では、一個の原子状イオンが大量に引出される。通常のイオン源では H_2^+ イオン量は H^+ や H_3^+ イオン量より少なく $1/10$ 以下であることを考えると、本発明によるイオン源では極めて効率良く多量体イオンが発生することが明らかである。なお、本実施例の場合、引出しイオンビーム

- 12 -

の形状は、引出し電極のプラズマ開口部を変えることにより円形（直径 1 mm 以下）あるいはスリット状（幅 $2\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 程度）で得られた。

次に、第4図(B)の試料17に照射される H_2^+ イオン量を測定したところ、引出し電圧 $300\text{ V} \sim 1000\text{ V}$ で 0.4 mA を超える H_2^+ ビーム電流が得られた。従って、原子数で換算すると、 1.2 mA に相当する H イオンが照射されたことになる。また、そのエネルギーは、原子一個当り 100 eV 以下になっていることに対応する。従来の一個の原子状イオンを大量に引出すイオン源を使い（例えば熱陰極型、冷陰極型等）、引出されたイオンビームを減速しても 100 eV 以下では数 $100\text{ }\mu\text{A}$ の H_2^+ イオン量しか得られていない。この事からも、本発明による多量体イオン発生用マイクロ波イオン源の有効性が確認された。なお、本実施例では、第4図(B)の差動排気構造が採用されるため、数 $10\text{ }\mu\text{A}$ のビーム照射時でも照射室16の残留ガス圧は、 10^{-8} Pa 台に維持できた。なお、従来のイオンビーム処理装置や、

第4図(B)の差動排気ポンプ14を動作させない合ではその残留ガス圧力は、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ Pa台である。

次に、第4図(A)において、ガスの代りにクラスタービーム発生装置(るつぼ10とノズル11で構成される)を動作させクラスター中性ビームのみをプラズマ室に導入した。まず、るつぼ10に燐(P)を入れ加熱したところ、ノズル形状(開口径、長さ、形)を最適化することにより、燐の中性クラスタービームが導入され、これを放電ガスとしてプラズマが点火し、クラスタープラズマが生成された。このプラズマから第4図(A)に示した引出し電極類3を使いイオンビームを引出したところ、 P_1^+ 、 P_2^+ 、 P_3^+ 、…のイオンが大量に含まれていることが分かった。引出し電圧1 kV以下の時、図(B)の試料17で測定した P_1^+ イオン、 P_2^+ イオン電流はそれぞれ1 mA以上であった。 P_1^+ 、 P_2^+ 、 P_3^+ 、…の成分比は、るつぼ温度、ノズル形状、マイクロ波電力により変化するが、これらを固定しておけば、

(5)

成分比はほぼ一定に維持されることが分かった。

次に、るつぼ10内の燐の代りにアルミニウム、シリコンの固体試料を入れて加熱すれば、同様にアルミニウム、シリコンについて2~10 MeVの100~1000 eVのイオンエネルギーを持つ多量体イオンビームが得られ、そのうち P_1^+ 、 P_2^+ 電流量はいずれも0.5~1 mA以上であった。更に、クラスター装置運転条件の変化により、数100個~1000個の原子数を持つイオンが観測された。この他、クラスタービーム発生装置と共に気体の試料ガスを同時に導入させた実験でも1 keV以下の大電流多量体イオンビームが得られた。

さて、前述した様にイオン源から大電流ビームを効率良く引出すには、引出し電圧Eが高い程良い。そこで別の実施例として、引出し電圧を1 kVより高い数kV~数十kVに上げ、引出された後に、このイオンビームエネルギーを別のエネルギー減速器に通した。これにより、100 eV~1 keVの領域で更に大電流の多量体イオンビ-

- 15 -

ーム取得を試みた。第5図は、本発明に基づく別の実施例を説明する図である。図では、扇形磁場型質量分離器13の後に、ビーム断面形状を変えるレンズ18(三段磁気四重極レンズ)を設けた。これはその後のビーム減速器入射部に適したビーム断面にするために設けた。更に、イオンビーム減速器19としては、高周波電界を使ってイオンビームを減速する方式のものを採用した。具体的には四本の波打った電極を向いあわせ、その中心軸に沿ってイオンビームを通して減速するものである。この高周波電界を使った方式では、イオンビームの発散効果が強く抑えられるため、発散効果の大きい多量体イオンに対し、ビーム減速中のビーム損失を少なくできる。本実施例により、イオン源引出し電圧を30 kVとし、減速器の高周波電界の周波数13.56 MHz、高周波電極19'の長さとして60 cmのものをを用いた。これにより、100~800 eV以下で数mAを超える多量体イオンが得られた。ビーム電流の増加比は、減速器を用いない場合に比べ二倍以上もあつ

- 16 -

た。なお、本実施例では、イオン源引出し電圧を高めるためにイオンビーム減速器を用いたが、数kVの引出し条件では、100 eVより低いエネルギーに多量体イオンが減速されるから、原子一個当たりとして数十eV以下の極低エネルギーの大電流粒子堆積が可能になることは、発明の本質からして明らかである。

また、本実施例では、クラスター粒子として特定の物質で示したが、他の種類の固体試料(化合物も含む)の使用により所望とする種々の多量体イオンビームが得られることは明らかである。

更に、本実施例ではH₂ガスの導入によるH₂⁺イオンの例を示したが、ガスとして化合物ガスを導入し、この化合物の構成原子の多量体イオンビームを得る場合も有効である。この他、イオンビーム減速器として高周波電界を利用する方式を実施例で示したが、従来の直流電界を利用したイオンビーム減速器を用いても良いことは明らかである。

(発明の効果)

- 17 -

- 18 -

本発明によれば、原子が数個ないし一千個結合した質量分離された多量体イオンビームを、1 keV以下の低エネルギー領域で効率良く得ることが出来る。そのビーム電流は従来よりの原子状・価イオンを減速する方法に比べ、一桁以上高い値である。従って、100V以下の低エネルギーイオンを使い、高純度の粒子堆積や材料改質が高速に行うことが初めて可能となり、実用に供しその効果は著しく大である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による多量体イオン発生用マイクロ波イオン源の原理説明図、第2図は従来のマイクロ波イオン源の構造説明図、第3図は本発明のイオン源に対する別の構造説明図、第4図は本発明に基づく一実施例の説明図、第5図は、本発明に基づく別の実施例の説明図、第6図は本発明のイオン源を動作して得られた実験データのうち、II、ガスを導入して得られた質量スペクトルの説明図である。

1…円筒型プラズマ室、2…コイル、3…引出し

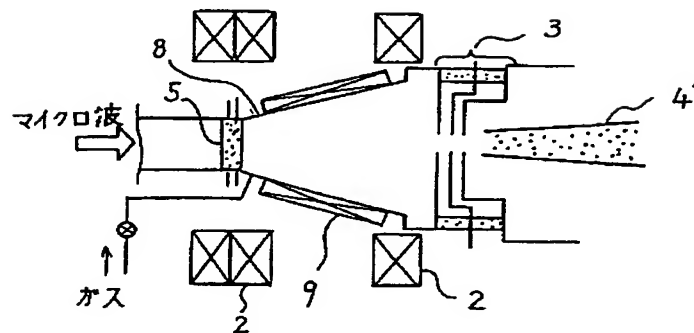
(6)

電極類、4…イオンビーム、4'…多量体イオンビーム、5…マイクロ波導入窓、6…同軸型プラズマ室、7…中心導体、8…テーパプラズマ室、9…永久磁石、10…ヒータ付るつぼ、11…ノズル、12…多量体イオン発生用マイクロ波イオン源、13…扇形磁場型質、14…差動排気ポンプ、15…小孔、15'…差動排気室、16…超高真空ビーム照射室、17…試料基板。

代理人 弁理士 小川勝男



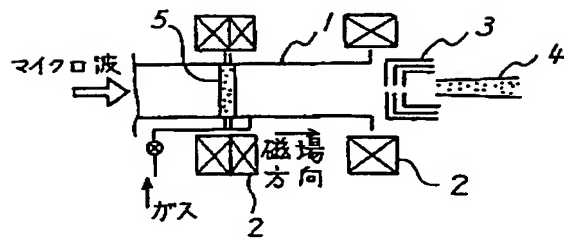
第 1 図



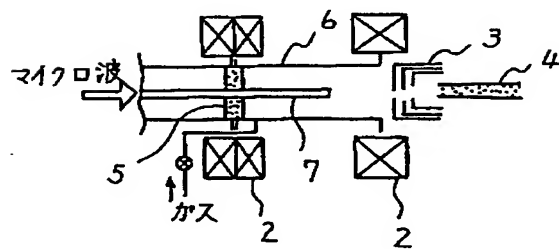
(7)

第 2 図

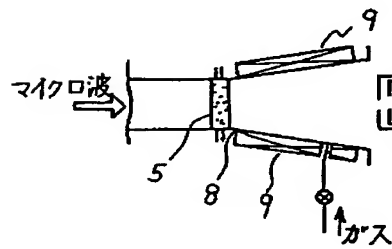
(A)



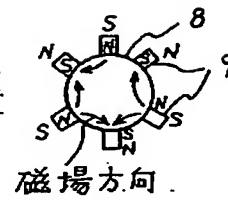
(B)



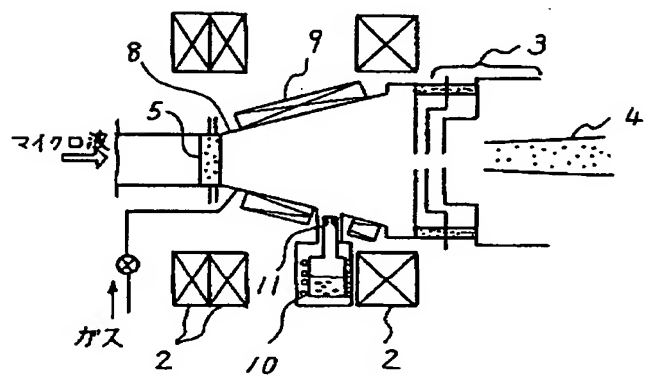
(C)



(D)



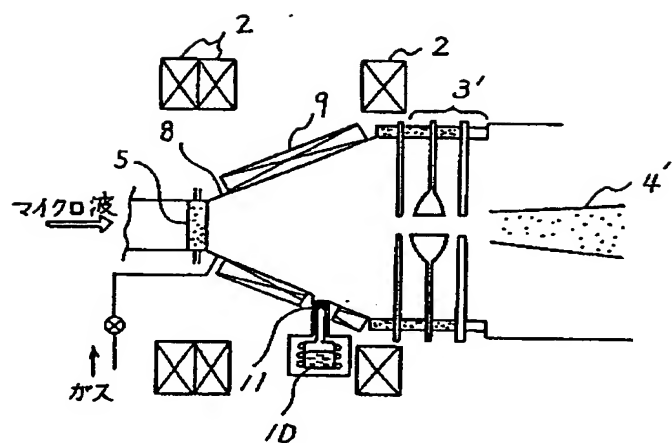
第 3 図



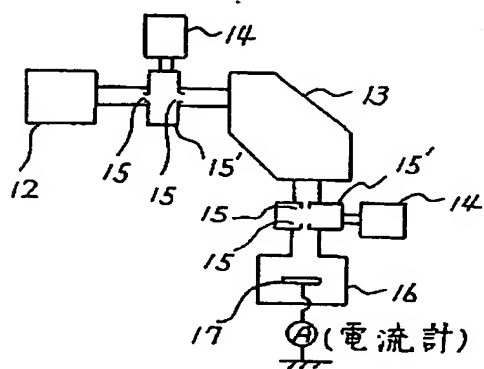
(8)

第 4 図

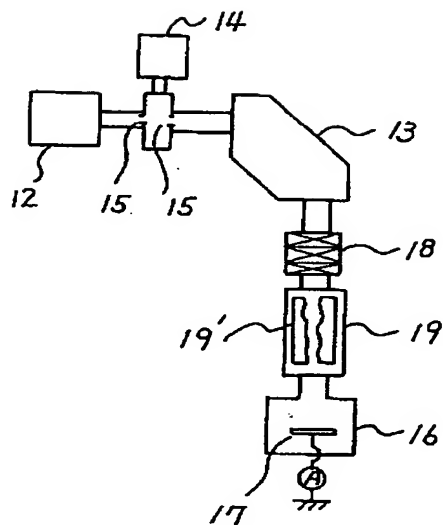
(A)



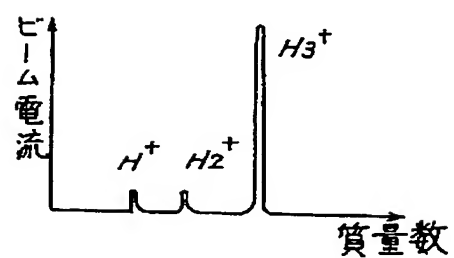
(B)



第 5 図



第 6 図



(9)

第1頁の続き

②発 明 者 作 道 訓 之 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内